جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و سوم، پائیز ۱۳۹۶

صص ۸۳- ٦٧

DOI: 10.22067/geo.v6i3.58862

بررسی اثر خصوصیات مکانی حوزه آبخیز بر واسنجی وقایع تک رخدادی سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوه سوخته)

سودابه بهیان مطلق– دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مهدی پژوهش[1]– استادیار آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

خدایار عبدالهی- استادیار آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/٦/۲٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

چکیده

ا ستفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی یکی از روش‌های رایج در تجزیه‌وتحلیل کمی حو ضه‌های آبخیز ا ست. پیشـــرفت‌های اخیر در زمینه‌ســازی‌های بارش –رواناب که انعطاف بیشـــتری در حل مســائل و پدیده‌های هیدرولوژیکی دارند، آن‌ها را جایگزین مناســـبی به‌جای روابط تجربی کرده اســـت. به‌طور مرســـوم در پژوهش‌های صورت گرفته پیشین مبتنی بر بهینه سازی مدل در همان مقیاس محلی موردبرر سی قرارگرفته که فاقد عمومیت مکانی اســـت. هدف این مطالعه ارائه پارامترهایی با اندازه معین اســـت تا در ســـطح عمومی‌تری برای تمام زیرحو ضه‌ها پا سخ قابل قبولی را ارائه دهد. بدین منظور پارامترهایی از مدل هیدرو گراف سیلاب که در هیدروگراف سیلاب نقش دارند، در مقیاس زیرحوضه‌ای و بزرگ‌مقیاس مورد مقایسه قرارگرفته ا ست. در این مطالعه از مدلHEC-HMSبرای مدل سازی رواناب زیر حو ضه‌ها و میزان رواناب خروجی از حوضه استفاده‌شده است؛ برای ساختار مدل از عوامل شماره منحنی SCS برای روش تلفات و هیدروگراف واحد SCS جهت روش انتقال اســتفاده شــد. به‌منظور واســنجی ابتدا بهینه‌ســازی پارامترها در هریک از زیرحو ضه‌ها به صورت جداگانه انجام گرفت و سپس مقدار عمومی پارامترها با به د ست آوردن اندازه ثابتی از پارامترهای حســـاس که در همه زیر حوضـــه‌ها پاســـخ قابل قبولی ارائه دهند، انجام شـــد. یافته‌های تحقیق نشـان می‌دهد که گرچه کارایی مدل در واسـنجی با پارامترهای محلی برتر از واسـنجی با اســتفاده از پارامترهای بزرگ‌مقیاس اســت، ولی ایســتایی پارامترهای عمومی بهتر اســت. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل از شــاخص Nash-sutcliffeاســتفاده گردید که این شــاخص برای کالیبراســیون محلی ۰/۸۵ و کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس ۰/٦۵ به دست آمد که در دامنه مطلوبی برای شبیه‌سازی قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: مقیاس محلی، بزرگ‌مقیاس، مدل هیدرولوژیکی، HEC-HMS، SCS.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۸٤۰۵۸۲ Email: Drpajoohesh@gmail.com

۱. مقدمه

یکی از روش‌های رایج کمی در تجزیه‌وتحلیل حوضه‌های آبخیز بهره‌گیری از مدل‌های هیدرولوژیکی است. دسته‌ای از این مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب مورداستفاده قرار می‌گیرند. یک مدل هیدرولوژیکی بارش–رواناب با ادغام داده‌های سری زمانی، پارامترهای مؤثر، متغیرهای منطقه و قوانین فیزیکی در داخل سیستم حوضه آبخیز، شبیه سازی میزان رواناب و فرآیندهای دیگر را امکان‌پذیر می سازد. هیدروگراف سیلاب نمایشی گرافیکی و مهم در تحلیل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. پاسخ‌دهی حوضه در شکل هیدروگراف با مدیریت ارتباط مستقیم دارد. در واقع، مدیریت حوضه آبخیز میسر نخواهد بود مگر اینکه خصوصیات هیدرولوژیک حوضه برای درک سیستم پیش‌بینی شود (بهادرا و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰۱۸).

مدل‌های هیدرولوژیکی متنوعی برای نیازهای مختلف ارائه‌شده‌اند. مدل‌هایی از قبیل مدل آبخیزداری دانشگاه کلمبیا (UBCWM[1])(لوکاس و وازیلیادس،۲۰۱٤) و مدل ارزیابی آب‌وخاک (SWAT[2])(سرویس پژوهش کشاورزی[3] ایالات‌متحده،۱۹۹۰)، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH[4]) به‌صورت جهانی در حوضه‌های فاقد آمار استفاده می شود (ابراهیم باتیش و احمد[5]،۲۰۱٦: ۱۳). این قبیل مدل‌ها برای شبیه سازی فرآیند بارش –رواناب بیش از ٤ دهه اخیر مورداستفاده قرار می‌گیرند؛ اما ارائه رواناب برای حوضه‌های فاقد آمار هنوز برای هیدرولوژیست‌ها به‌عنوان یک چالش باقی‌مانده است (واسوا[6]،۲۰۱۳: ۳۰). همین امر منجر به تنوع در مدل‌ها شده است.

مدلHEC-HMS[7]یکی از مدل‌های شبیه‌سازی فرآیند بارش – رواناب است. مدل HEC-HMSتوسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا ارائه شده است که از قابلیت‌های مهم آن امکان ارتباط با دیگر نرم‌افزارها ازجمله سیستم اطلاعات جغرافیایی است. الحاقیه HEC-GEO HMSبسیاری از داده‌های مورد نیاز را که نیاز به محاسبه دستی دارند، اتوماتیک محاسبه می‌کند. مدل به‌صورت کاربر پسندی، حوضه را با آیکون‌های مسیرها و اتصال‌ها و... موجود در محیط HEC-HMS برای ورود به مدل آماده می‌کند. این مدل هم قابلیت اجرا به‌صورت یکپارچه و هم به‌صورت توزیعی دارد. کابرال موریرا (۲۰۱۳: ۱٦٤) به‌منظور مدل‌سازی رواناب در حوضه رودخانه گرانجریو، از مدل نیمه توزیعی HEC-HMS برای به دست آوردن پارامترهای موردنیاز استفاده کرد و مدل حاصل را مدلBHG[8]نامید.

1 University of British Columbia Watershed Model
2 Soil and Soil Water Assessment Tool
3 Agricultural Research Service
4 Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph
5 Ibrahim-Bathisand Ahmed
6 Vassova
7 Hydrologic EngineeringCenter-Hydrologic Modeling System
8 bacia hidrográfica do rio Granjeiro

همچنین آگراوال (۲۰۰۵: ۱۷۶) به‌منظور ارائه مدلی برای ورود داده‌ها به HEC-HMSاز مدل توزیعی اســتفاده کرد و مدل حاصل را Per-Pro2004[1] نامید.

از نکات این مدل امکان تغییر ساختار سیستم مدل‌سازی توسط کاربر است. در مدل HEC-HMSبرای محاسبه روش تلفات، انتقال و روندیابی جریان روابط مختلفی وجود دارد که هر رابطه پارامترهای خاص خود را دارد که با استفاده از روابط تجربی محاسبه می شود. این مدل می‌تواند در مناطق فاقد آمار و در مناطقی که نظارت روی داده‌ها محدود است میزان رواناب را برآورد کند (ابراهیم باتیش و احمد،۲۰۱٦: ۱۱).

دقت برآورد رواناب با مدل‌های هیدرولوژیکی به‌دقت برآورد پارامترهای مدل و متغیرهای مکانی و زمانی بستگی دارد (کارابوا[2] و همکاران،۲۰۱۲: ۱۵۹؛ لو[3] و همکاران،۲۰۱۳:۱۱۰؛ بویج[4]،۲۰۰۳: ۲۵۹۱). درواقع می‌توان گفت میزان موفقیت در تعیین دقت شــبیه‌ســازی وابســته به‌دقت پارامترهای ورودی و شــناخت کاربر از ســاختار مدل اســت (زانگ[5]،۲۰۱۳: ٦٥؛ بورمن[6]،۲۰۰٦: ۱۷٤؛ باتس[7]،۲۰۰٤: ۲٦۰). راه‌حل بهینه این است که کالیبره کردن داده‌های بارش با توجه به تغییرات زمانی و مکانی باشد. به دلیل نقش کلیدی بارش اندازه‌گیری‌های باران‌سنجی خوب در نقاط بارش و استفاده از اطلاعات مکانی رادار برای بهبود ارزیابی مکانی بارش امکان‌پذیر است (اسلازینکا و زاویسلاک[8]،۲۰۰۵، ۲۰۳؛ باردوسی و داس[9]،۲۰۰۸: ۸۵؛ بندینت[10] و همکاران،۲۰۱۳: فصل اول).

HEC-HMS مدل بارش –روانابی است که پارامترهای یکپارچه و همچنین پارامترهای توزیعی را پشتیبانی می‌کند (آهن[11]،۲۰۰۷: ۱۷۹). در مدل یکپارچه پارامترهای هیدرولوژی به صــورت متوســط بیان می‌شــوند و تغییرات مکانی آن‌ها مد نظر نیست . یک مدل توزیعی به زیر حوضه‌هایی تقسیم می‌شود و پارامترهای هیدرولوژیکی برای هر واحد به طور مجزا تحلیل می‌شود.

در تحقیقی که اسدی و بوستانی (۲۰۱۳: ۱۱۹) به‌منظور بررسی عملکرد مدل HEC-HMS انجام دادند. از مدل یکپارچه و مدل توزیعی استفاده کردند. همان‌طور که به صورت عمومی انتظار می‌رفت نتایج نشان داد که مقدار دبی اوج و حجم رواناب در مدل توزیعی عملکرد بهتری نسبت به مدل یکپارچه نشان داده است.

1 Pre-and-Post Processor for HEC-HMS, 2004
2 Karabowa
3 Lu
4 Booij
5 Zhang
6 Bormann
7 Butts
8 Szalinskaand Zawislak
9 Bardossy and Das
10 Bendient
11 Ahn

یکی از قابلیت‌های مدل‌هایی نظیر HEC-HMS بررسی اثرات تغییرهاست، برخی تغییرات مکانی و برخی زمانی هستند. امروزه به دلیل افزایش جمعیت، تغیر کاربری اراضی با پوشش طبیعی به مناطق شهری به صورتقابل‌توجهی افزایش‌یافته بنابراین ایجاد این تغییرات و به دنبال آن کاهش پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق در اندازه رواناب حاصل از بارش نیز تأثیر گذاشته است (باگز و سان[1]، ۲۰۱۱: ۲٦۱؛ نوری و همکاران،۲۰۱٦: ۱۱). تغییر کاربری اراضی یا تغییر پوشش به دلیل نرخ بالای جنگل‌زدایی و گسترش کشاورزی باشد در دبی اوج و حجم رواناب تأثیر بسزایی دارد (اولانگ وفورست[2]،۲۰۱۱: ۸٦). دراین‌ارتباطمراد نژادی و همکاران (۱۳۹٤: ۳۵) در رابطه با الویت بندی زیر حوضه‌های مناسب بهره‌برداری جنگل با استفاده از مدلHEC-HMSبه مطالعه پرداختند. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات بهره‌برداری نشان داد به ترتیب زیر در چه الویتی قراردارند.

ساختار منعطف مدل HEC-HMS امکان بررسی سناریوها را فراهممی کند. والتر داک (۲۰۱٤: ۱۸۹) لزوم کاهش دبی اوج رواناب و جاری شدن سیل در بالادست رودخانه سدار را در به کار بردن ترکیبی از پروژه‌های افزایش نفوذ یا ذخیره رواناب اضافی دانست که با استفاده از مدل توزیعی HEC-HMS این مطالعه صورت پذیرفت. وی نشان داد، طرح‌های مکانیکی و بیولوژیکی در تغییر حجم رواناب و زمان تا اوج دبی تأثیر بسزایی دارد. طبق پژوهش‌های صورت گرفته با افزایش کمیت این طرح‌ها زمان تا اوج دبی به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (الکساندر[3]، ۲۰۰۹: ۱۱۸).

سلیمانی و همکاران (۱۳۸۷: ۵۸) درمطالعه‌ای با استفاده ازمدل HEC-HMSبه شناسایی مناطق سیل‌خیز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان مشارکت حوزه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج نبوده ولزوماً زیر حوزه‌هایی که دبی بیشتری دارند بیشترین مشارکت را در سیل خروجی حوضه ندارند. در این قبیل مطالعات لازم است پارامترهای مدل به‌طورعمومی[4] بهینه شده باشند. به‌عبارت‌دیگر، به‌منظور دریافت پاسخ مناسب از مدل هیدرولوژیکی پارامترها باید به‌صورت چند معیاره کالیبره شوند. مدل‌ها برای مناطقی با شرایط متفاوت با شرایط آب‌وهوایی و فیزیوگرافی متفاوت ارائه شده‌اند به همین دلیل باید ابتدا کالیبره شوند؛ اما اگر کالیبراسیون به صورت عمومی صورت نگیرد چه اتفاقی می‌افتد. هدف اول این تحقیق پاسخ علمی به این سؤال است.

اکثر تحقیقات صورت گرفته در زمینه کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی با پارامترهای محلی است ولی اگر پارامترها در مقیاس‌های بزرگ‌تر کالیبره شوند (تروی[5] و همکاران،۲۰۰۸: ۸ ؛ پوخرل و گوپتا[6]،۲۰۱۰: ۱۲؛

---

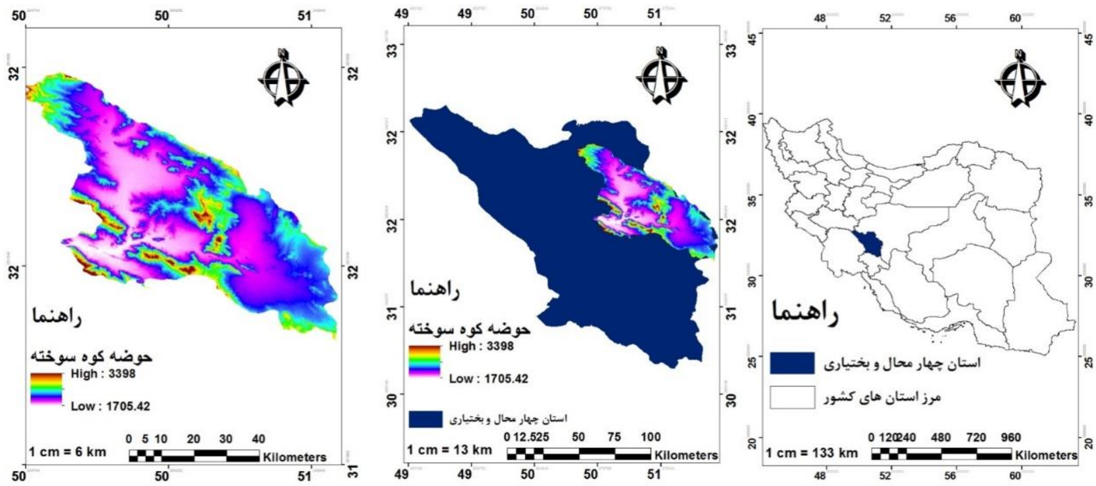
1 Boggsand Sun
2 Olangand Furst
3 Alexander
4 Global
5 Troy
6 Pokhreland Gupta

بلوسچل[1]،۲۰۰۱: ۷۱۰؛ عبدالله و لتنمایر،۱۹۹۷: ۲۵۳) می‌توان نتایج را به مناطق فاقد آمار تعمیم داد. برخی محققان در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند از قبیل سامانیگو (۲۰۱۰: ۲۰) پوخرل (۲۰۰۸: ۱۱) به این طریق که پس از مشخص کردن پارامترهای حساس، پارامترها به‌صورت منطقه‌ای کالیبره می‌شوند (هانداچا و باردوسی[2]،۲۰۰٤: ۲۹۳؛ پاراجکا و همکاران،۲۰۰۵: ۱٦۸؛ بون[3]،۲۰۰۱: ۹) و براســاس پارامترهای محلی، پارامترهای بزرگ‌مقیاس را به دســت آورده و کالیبره شوند. هدف از این مطالعه مقایسه واسنجی محلی و بزرگ مقیاس است. با توجه به اینکه در ایران کمتر به این موضوع اهمیت داده شده می‌توان نقطه قوت این تحقیق دانست و نتایج این مطالعه را به مناطق فاقد آمار تعمیم داد.

۲. مواد و روش‌ها

مشخصات حوضه موردمطالعه

این مطالعه در حوضه آبخیز کوه سوخته که بخشی از حوضه آبخیز بهشت‌آباد است، انجام شده است. بخش‌هایی از شهرستان‌های شهرکرد، بروجن و کیار در این محدوده قرار می‌گیرد. از نظر جغرافیایی بین ۵۰ درجه و ٤۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۲ درجه عرض جغرافیایی شمالی واقع شده اســت. مســاحت منطقه موردمطالعه ۲۷۸۳ کیلومترمربع، کمترین ارتفاع در منطقه۱۷۰۵ متر و بیشــترین ارتفاع ۳۳۹۸ مترومتوسط شیب منطقه ۱۹٪ است. همچنین میانگین بارش سالیانه در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد ۳۲۰ میلی‌متر است.



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

1 Bloschl
2 Hundechaand Bárdossy
3 Beven

روش تحقیق

در مرحله اولیه آماده سازی داده‌ها با ا ستفاده از الحاقیه HEC-GEOHMSبر ا ساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) و گذراندن مراحل متفاوت، مشـــخصـــات فیزیکی حوضـــه تهیه و به مدلHEC-HMS معرفی شـــد. در این مطالعه از خصوصیات فیزیکی و دینامیکی حوضه استفاده گردید. پارامترهای مدل به‌صورت محلی و همچنین با در نظرگرفتن مقدار ثابت برای هر زیر حوضـــه در حالت بزرگ‌مقیاس، کالیبره شـــدند. پارامترهای مربوط به روش تلفات، روش انتقال و روند یابی جریان محاسبه و وارد مدل گردید. در مدل هواشناسی و مدل کنترل سازوکارهای لازم برای اجرای صورت گرفت در بخش سری‌های زمانی این مدل داده‌های بارش ٦ ساعته و دبی ٦ ساعته استفاده‌شده است. انتخاب داده‌های ٦ ســاعته به این دلیل بود که مطابق با رابطه تجربی اشــنایدر (مدت زمان بارش) زمان بارش باید مســاوی یا بیش از زمان هیدروگراف واحد با شد و به دلیل در د سترس نبودن داده‌های یک ساعته بارش، از داده‌های ٦ ساعته ا ستفاده گردید. به‌منظور شناخت پارامترهای ح ساس، تحلیل ح سا سیت پارامترها انجام شد. سپس برای برر سی و ضعیت کارایی مدل با حالات مختلف،٦ رویداد برای وا سنجی و دو رویداد برای صحت سنجی مدل انتخاب شد. روند مراحل محاسبه پارامترهای مدل HEC-HMSبه شرح ذیل است:

مدل حوضه

در این قســمت به‌منظور محاســبه پارامترهای موردنیاز در مدل تلفات و مدل انتقال در زیر حوضــه‌ها به ترتیب از روش شماره منحنی SCS و هیدروگراف واحد SCS ا ستفاده شد. پارامترهای موردنیاز مدل تلفات شامل نگهدا شت اولیه، شماره منحنی و نفوذناپذیری است و پارامتر موردنیاز مدل انتقال زمان تأخیر است.

با استفاده از روش برانسبای- ویلیامز زمان تأخیر محاسبه گردید (علیزاده،۱۳۹۰: ۱۹۰).

$$T_c = \frac{0.96L^{1.2}}{H^{0.2}\,A^{0.1}} \qquad (۱)$$

$$T_{lag}=0.6\ T_c \qquad (۲)$$

که در این معادله، T_C زمان تمرکز برحســب ســاعت، L طول آبراهه اصــلی برحســب کیلومتر H اختلاف ارتفاع برحسب متر، A مساحت حوزه برحسب کیلومترمربع، T_{lag} زمان تأخیر برحسب ساعت است.

به صورت تئوری مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیر ا ست اما در عمل بین ۳۰ تا ۱۰۰ می‌با شد. درCN برابر صفر روانابی از بارندگی حا صل نیامده و در CNبرابر ۱۰۰، تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود (مهدوی،١٣٨٦: ١٤٠). با استفاده از نقشه شماره منحنی که نشان‌دهنده خصوصیات حوضه ازنظر نفوذپذیری است، عدد مربوط به هر زیر حوضه با استفاده از میانگین وزنی محاسبه شد.

S حداکثر توان نگهداشــت مربوط به نفوذ در خاک و ذخیره ســطحی اســت. مقدار S در رابطه با نوع پوشــش و نحوه بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک ازنظر نفوذپذیری و داخل خاک ازنظر انتقال است. چنانچه ارتفاع بارندگی کمتر از ۰/۲S باشد فرض می‌شود که رواناب به وجود نخواهد آمد؛ بنابراین I_a را به‌عنوان نگهداشت اولیه در نظر گرفته می‌شود (مهدوی،۱۳۸٦: ۱٤۸).

$$I_a=0.2S \quad (۳)$$

$$S=\frac{25400-254CN}{CN} \quad (٤)$$

در رابطه فوق I_a نگهداشت اولیه، S نگهداشت کل، CN شماره منحنی است.

در مدل HEC-GEO-HMSبعد از ایجاد مدل هوا شنا سی باید روش ارائه بارش م شخص شود که اینجا به دلیل موجود بودن هایتوگراف در این مدل هیتو گراف مشخص شده توسط کاربر انتخاب گردید.

تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترها، دو پارامتر نگهداشت اولیه و زمان تأخیر را در نظر گرفتیم. بدین منظور مقدار این دو پارامتر از ۲۰٪- تا ۲۰٪+ با فواصل ۱۰٪ تغییر داده شد و اثر آن بر دبی اوج سیل اعمال گردید.

حساسیت مدل نسبت به پارامترها با فرمول زیر محاسبه گردید (کریمی و همکاران،۱۳۹۰: ۳۳):

$$SEN=100\frac{New-Old}{Old.|PC|} \quad (۵)$$

در رابطه فوق SEN[1] مقدار حســاســیت تابع هدف حاصــل از تغییر در اندازه پارامتر، New مقدار جدید خروجی مدل حاصل از پارامتر جدید، Old خروجی اولیه مدل، PC قدر مطلق درصد تغیرت است.

واسنجی

با توجه به اینکه دقت پارامترهای ورودی شاخصی برای میزان کارایی مدل‌سازی است و نتایج شبیه‌سازی نهایی مدل به این مرحله وابسته است، بعد از تعیین حساسیت مدل نسبت به پارامترها، پارامتر حساس انتخاب گردید و پارامترها به صورت محلی و بزرگ‌مقیاس کالیبره شد. در این پژوهش از پارامترهای نگهداشت اولیه، نفوذناپذیری و زمان تأخیر و همچنین٦رویداد بارش برای واسنجی مدل استفاده شد.

صحت سنجی

ازآنجاکه نتایج حاصل از مدل در تصمیم‌گیری‌ها و طراحی منابع آب‌وخاک و همچنین مسائل مربوط به سیل و امثال آن کاربرد فراوانی دارد، همواره درجه اعتبار آن‌ها مورد سؤال است. با عدم قطعیت‌ها و خطاهای مدل‌ها از هیچ

1 Sensitivity

مدل کامپیوتری نمی‌توان پیش‌بینی کامل و دقیقی را انتظار داشت. لذا آن‌ها را باید کالیبره و اعتبار سنجی نمود. صحت سنجی با یک سری اطلاعات جدید، مستقل از اطلاعات استفاده‌شده در مرحله واسنجی شبیه‌سازی جریان انجام شد که برای این پروژه صحت سنجی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه شده برای دو رویداد بارش صورت گرفت.

ارزیابی کارایی مدل

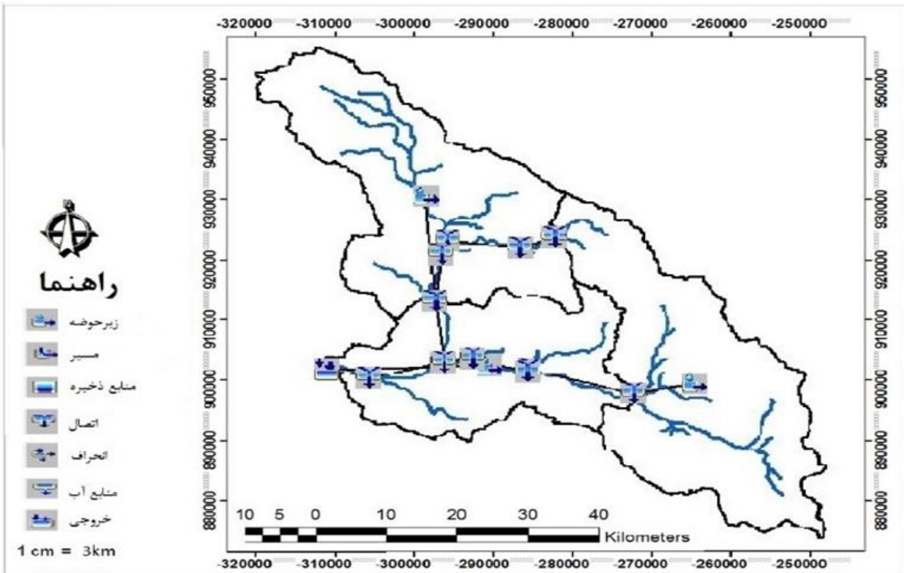
برای ارزیابی عملکرد از شاخص Nash- Sutcliffeبه‌عنوان معیاری برای سنجش تفاوت میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده است هرچه مقدار شاخص به یک نزدیک‌تر باشد داده‌های شبیه‌سازی‌شده به داده‌های مشاهده‌ای شباهت بیشتری دارند.

$$\mathbf{NSE} = \mathbf{1} - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathbf{O_i - P_i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\mathbf{O_i - O^-})^2} \qquad (٦)$$

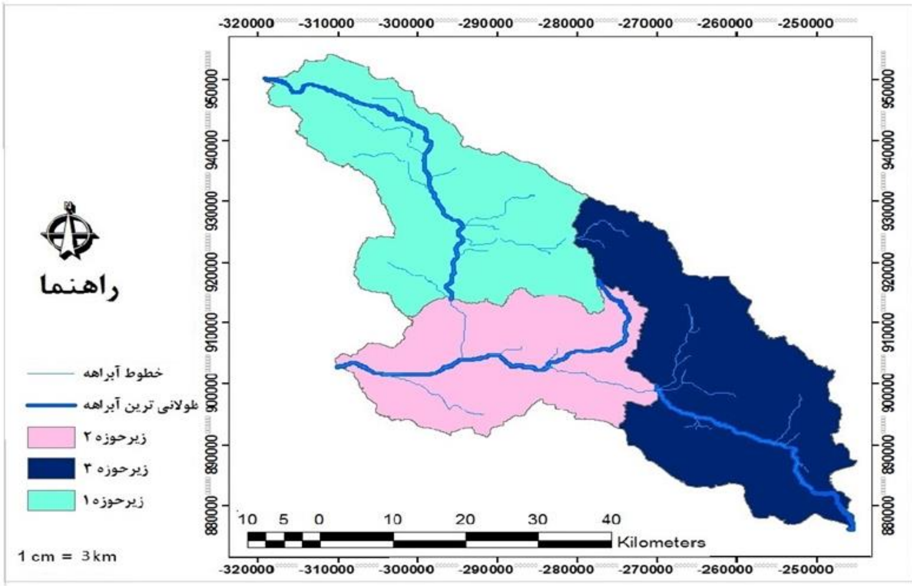
در روابط فوق NSE شاخص Nash-Sutcliffe، Oi داده‌های مشاهده‌ای، Pi داده‌های شبیه سازی شده، O^-متو سط داده‌های مشاهده‌ای است.

۳. بحث و نتایج

نقشه مدل حوضه با استفاده از الحاقیه HEC-Geo-HMS حاصل گردید (تصویر ۲) و نقشه حاصله به‌عنوان اولین گام مدل‌سازی، وارد برنامه HEC-HMS گردید.

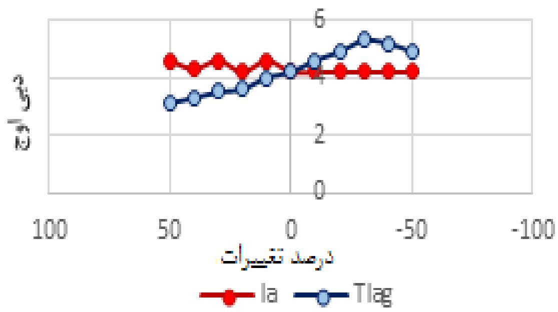


تصویر ۲. نقشه شماتیک حوضه کوه سوخته به‌منظور ورود به مدل HEC-HMS

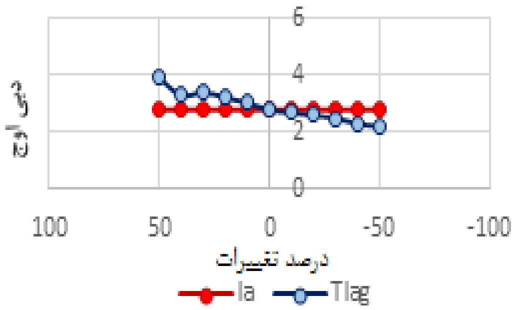


تصویر ۳. زیرحوضه‌های حوضه کوه سوخته

تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مدل نشان می‌دهدکه پارامتر نگهداشت اولیه و زمان تأخیر دارای حساسیت بالایی می‌باشد؛ درصورتی‌که سایر پارامترها حساسیت کمتری نسبت به تغییر تابع هدف در مدل HEC-HMS دارند. با توجه اینکه هر چه شیب نمودار بیشتر باشد حساسیت مدل نسبت به پارامتر بیشتر است، در این حالت یک تغییر کوچک در پارامتر موردنظر باعث تغییرات زیادی در مدل می‌شود و بالعکس اگر شیب نمودار کم باشد تغییرات زیاد پارامتر اثر کمی روی پاسخ نهایی مدل خواهد داشت (تلوری،۱۳۷۵: فصل اول). همان‌طور که در تصویر و (٤) و (٥) نشان داده‌شده مدل در هر دو حالت محلی و بزرگ‌مقیاس نسبت به پارامتر زمان تأخیر حساسیت بیشتری برای همه وقایع نشان می‌دهد.

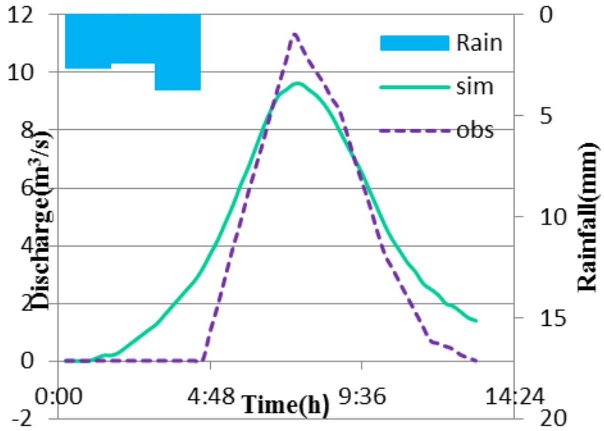


تصویر ٤. تحلیل حساسیت پارامترها در کالیبراسیون محلی حوضه کوه سوخته، رویداد ۹۰/۰۵/۲۸

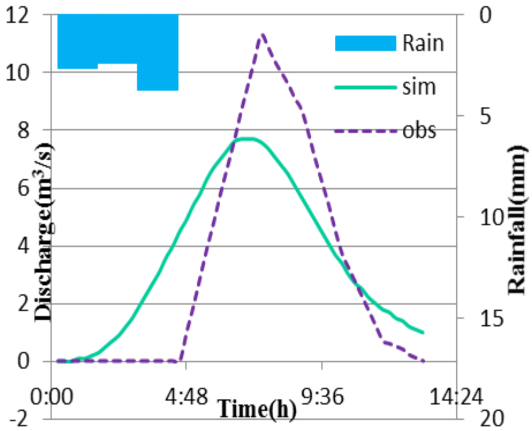


تصویر ۵. تحلیل حساسیت پارامترها در کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس حوضه کوه سوخته، رویداد ۹۰/۰۵/۲۸

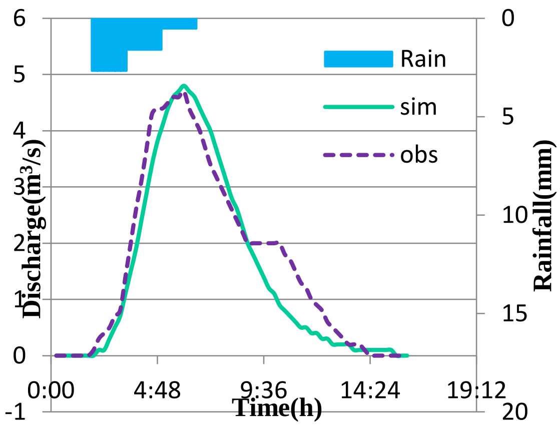
تصاویر ذیل نشان‌دهنده دبی اوج مشاهده‌ای و دبی اوج شبیه سازی شده است. تصاویر (٦،٨ و ١٠) مربوط به مقایسه دبی اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون با استفاده از پارامترهای محلی است و همچنین تصاویر (٧،٩و ١١) اختلاف بین دبی اوج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون بااستفاده از پارامترهای بزرگ‌مقیاس را نشان می‌دهد.



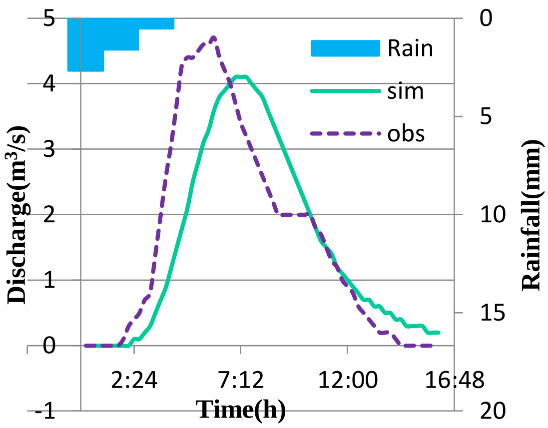
تصویر ٦. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد٩٠/٠٨/٢٩ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ١(کالیبراسیون محلی)



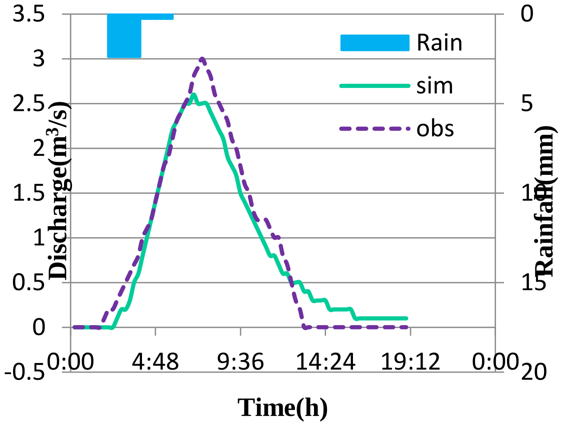
تصویر ٧. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد٩٠/٠٨/٢٩ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ١(کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس)



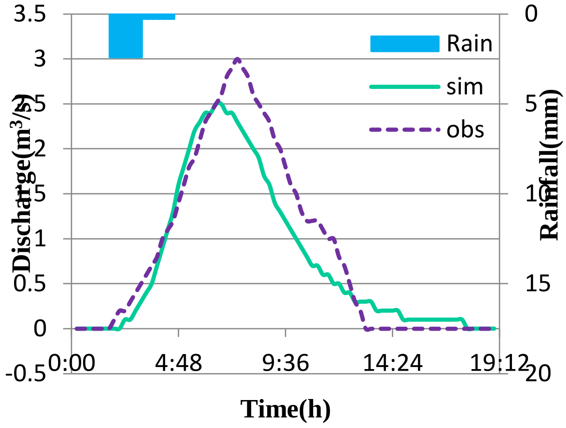
تصویر٨. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد٩١/١٠/٠١ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ١(کالیبراسیون محلی)



تصویر٩. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد٩١/١٠/٠١ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ١(کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس)



تصویر ۱۰. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد۹۱/۱۰/۰۵ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ۱(کالیبراسیون محلی)



تصویر ۱۱. دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد ۹۱/۱۰/۰۵ در حوضه کوه سوخته-زیر حوضه ۱(کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس)

تصاویر فوق گویای برتری ظاهری کالیبراسیون محلی است. رویداد ۵ دی ۹۱ بیشترین دقت و رویداد ۱۱ فروردین ۹۱ کمترین دقت را در کالیبراسیون محلی داشتند. دلیل این اختلاف ممکن است در تغییر نفوذپذیری اراضی در فصل زمستان و بهار باشد. در کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس نیز در رویداد ۵ دی ۹۱ کارایی بالایی مشاهده می‌شود. در کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس بعد از انتخاب پارامترها در مرحله تحلیل حساسیت، پارامترهای زمان تأخیر، نگهداشت اولیه، نفوذناپذیری و شماره منحنی واسنجی گردید. نتایج حاصل از واسنجی مطابق جدول (۱) به دست آمد.

جدول ۱. پارامترهای بزرگ‌مقیاس واسنجی شده در حوضه آبخیز کوه سوخته

زمان تأخیر (min)	نفوذناپذیری (٪)	نگهداشت اولیه (mm)	شماره منحنی (CN)	مساحت (km^2)	زیر حوضه
۱۰۰۸/۵	۱/۲۵	۵۰	٦٩	۱۰۰۷/۵۳	۱
۱۰۰۵/۷	۲	۵۰	۵۸	۷٤۱/۵۵	۲
۹٦۱,٤۲	۱/٤	۵۰	٦٦	۱۰۳۳/۹۲	۳

پارامترهای موردنیاز اجرای مدل مطابق با آنچه در قسمت مواد و روش‌ها ذکر شد محاسبه گردید. به‌منظور دقت بیشتر مدل در برآورد رواناب پارامترها مورد واسنجی به روش سعی و خطا قرار گرفتند. پارامترهای زمان تأخیر، نگهداشت اولیه، نفوذناپذیری و شماره منحنی مطابق اطلاعات جدول (۲) در ٦رویداد حوزه به‌صورت محلی واسنجی گردیدند.

جدول ۲. پارامترهای محلی واسنجی شدهHEC-HMS در حوضه آبخیز کوه سوخته

زمان تأخیر (min)	نفوذناپذیری (٪)	شماره منحنی (CN)	نگهداشت اولیه (mm)	مساحت (km^2)	زیر حوضه	رویداد
۱۲۰۰	۱/۹	٦۹	۵۵	۱۰۰۷/۵۳	۱	۹۰/۰۸/۲۹
۱۱۵۰	۲/٤	۵۸	۵۰	۷٤۱/۵۵	۲	
۹۲۰	۰/۹	٦٦	٤۵	۱۰۳۳/۹۲	۳	
۱۱۰۰	۱/۵	٦۹	۵۳	۱۰۰۷/۵۳	۱	۹۰/۱۱/۱۲
۱۰۵۰	۲	۵۸/۸	۵۰	۷٤۱/۵۵	۲	
۹۸۰	۱/۵	٦٦	۵۲	۱۰۳۳/۹۲	۳	
۱۲۰۰	۱/۲	٦۹	۳۰	۱۰۰۷/۵۳	۱	۹۱/۰۱/۱۱
۱۳۵۰	۱/۲	٦٦	۳۰	۷٤۱/۵۵	۲	
۱٤۰۰	۱/۹	۵۸	۳۰	۱۰۳۳/۹۲	۳	
۱۰۰۰	۰/۹	٦۹	۵۰	۱۰۰۷/۵۳	۱	۹۱/۰۹/۲۱
۹۰۰	۱	۵۸	۵۰	۷٤۱/۵۵	۲	
۱۰۰۰	۱	٦٦	۵۰	۱۰۳۳/۹۲	۳	
٦٦۰	۱/۳	٦۹	۳۰	۱۰۰۷/۵۳	۱	۱۰۹۱/۰۱
٦۹۰	۱/۸	۵۸	۳۰	۷٤۱/۵۵	۲	
٦۹۰	۱/۳	٦٦	۳۰	۱۰۳۳/۹۲	۳	
۱۲۰۰	۱/۸	٦۹	۳۰	۱۰۰۷/۵۳	۱	۹۱/۱۰/۰۵
۱۱۵۰	۲/۸	۵۸/۸	۳۰	۷٤۱/۵۵	۲	
۱۱۰۰	۱/٦	٦٦	۳۰	۱۰۳۳/۹۲	۳	

نتایج حاصل از واسنجی در ٦ رویداد و حجم رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در حوضه آبخیز کوه سوخته مطابق با جدول (۳) مورد مقایسه قرارگرفته است.

جدول ۳. مقایسه نتایج واسنجی حجم رواناب به دو روش بزرگ‌مقیاس و محلی در مقابل مقادیر مشاهده‌ای

مشاهده‌ای	شبیه‌سازی		زیرحوضه	رویداد
حجم (m^3)	حجم (m^3)			
	واسنجی محلی	واسنجی بزرگ‌مقیاس		
۰/٦۵	۰/۸۱	۰/٦۱	۱	۹۰/۰۸/۲۹
۰/٦۵	۰/۷۹	۰/۷۳	۲	

ادامه جدول ۳

رویداد	زیرحوضه	شبیه‌سازی حجم (m^3) واسنجی بزرگ‌مقیاس	شبیه‌سازی حجم (m^3) واسنجی محلی	مشاهده‌ای حجم (m^3)
	۳	۰/۷	۰/۸	۰/٦٥
۹۰/۱۱/۱۲	۱	۱/٥٦	۱/۲٥	۱,۱
	۲	۱/۲	۱/۲۸	۱/۱
	۳	۱/٥	۱/۳	۱/۱
۹۱/۰۱/۱۱	۱	۰/۲۷	۰/۲٥	۰/۳
	۲	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۳
	۳	۰/۳۱	۰/۲٦	۰/۳
۹۱/۰۹/۲۱	۱	۰/٥۳	۰/۳۸	۰/٤
	۲	۰/٦۳	۰/۳۱	۰/٤
	۳	۰/٦۲	۰/٤٤	۰/٤
۱۰۹۱/۰۱	۱	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/٤
	۲	۰/۳۷	۰/۳٤	۰/٤
	۳	۰/۳۷	۰/۳٤	۰/٤
۹۱/۱۰/۰٥	۱	۰/۱۸	۰/۲٥	۰/۲٥
	۲	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲٥
	۳	۰/۲	۰/۲۳	۰/۲٥

پس از واسنجی مدل در ٦ رویداد در حوزه، صحت سنجی انجام گرفت. دو رویداد به‌منظور صحت سنجی مدل انتخاب گردید. دبی رواناب و همچنین حجم رواناب برآورد گردید. در جدول (۳) مقادیر به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی و داده‌های مشاهده‌ای ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری جهت مقایسه ارائه‌شده است.

جدول ٤. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از کالیبراسیون محلی و بزرگ‌مقیاس حوضه کوه سوخته

مرحله	تاریخ	NSE
کالیبراسیون محلی	۱۳۹۰/۰۸/۲۹	۰/۸
	۱۳۹۰/۱۱/۱۲	۰/۸۳
	۱۳۹۱/۰۱/۱۱	۰/۷۷
	۱۳۹۱/۰۹/۲۱	۰/۸۸
	۱۳۹۱/۱۰/۰۱	۰/۹۱
	۱۳۹۱/۱۰/۰٥	۰/۹٤

ادامه جدول ٤

مرحله	تاریخ	NSE
کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس	۱۳۹۰/۰۸/۲۹	۰/۷۱
	۱۳۹۰/۱۱/۱۲	۰/۸٤
	۱۳۹۱/۰۱/۱۱	۰/۵۳
	۱۳۹۱/۰۹/۲۱	۰/۳۳
	۱۳۹۱/۱۰/۰۱	۰/٦۳
	۱۳۹۱/۱۰/۰۵	۰/۸٤

نتایج حاصل از واسنجی و بهینه‌سازی نشان داد که برآورد دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف، مدل‌سازی با استفاده کالیبراسیون محلی برتری ظاهری دارد (جدول ۳ و ٤)(تصاویر ٦،۸ و ۱۰) هرچند این نتیجه برای کل حوضه عمومیت ندارد. همان‌طور که انتظار می‌رود از لحاظ ارتفاع رواناب کمترین اختلاف بین رواناب مشاهده شده و شبیه سازی شده مربوط به کالیبراسیون با استفاده از پارامترهای محلی است (جدول ۳). در ارزیابی کارایی نتایج، شاخص Nash-Sutcliffeبرای کالیبراسیون محلی ۰/۸۵ و کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس ۰/٦۵ به‌دست‌آمده که در دامنه مطلوبی برای شبیه‌سازی قرار دارد.

٤. نتیجه‌گیری

مدل سازی از روش‌های غیرمستقیم است که سرعت بیشتری نسبت به روش‌های میدانی دارد. برای دستیابی به نتایج دقیق در مدل‌سازی نیاز به برآورد قابل‌قبول پارامترهای مدل و نیز اطلاع از متغیرهای زمانی و مکانی است. به این فرآیند کالیبراسیون اطلاق می‌شود. نتایج حاصل از مدل سازی بارش–رواناب توسط مدل HEC-HMS در حوزه موردمطالعه، گویای این مطلب است که استفاده کالیبراسیون محلی نسبت به کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس دقت ظاهری بیشتری دارد و این موضوع مطابق با تحقیقات سامانیگو و همکاران (۲۰۱۰: ۲۲) و هاندچا و باردوسی (۲۰۰٤: ۲۹۳) است؛ اما مقدار شاخص محاسباتیNash-sutcliffe در کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس نسبت به کالیبراسیون محلی تغییرپذیری کمتری دارد. دبی اوج رواناب شبیه سازی شده در کالیبراسیون محلی در مقایسه با رواناب مشاهده‌ای و همچنین حجم رواناب شبیه‌سازی‌شده در کالیبراسیون محلی در مقایسه با رواناب مشاهده‌ای اختلاف کمتری نسبت به این پارامترها در کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس دارد که این مقایسه نشان از برتری ظاهری کالیبراسیون محلی دارد. بااین‌وجود هر دو کالیبراسیون در برآورد رواناب پاسخ‌های قابل قبولی ارائه دادند در حالی که پارامترهای به‌دست‌آمده در حالت عمومی یا بزرگ‌مقیاس حساسیت مکانی کمتری دارند. این موضوع امکان تعمیم نتایج واسنجی را به مناطق فاقد آمار بیشتر می‌کند. لذا همان‌طور که در بخش دوم این مطالعه از روش کالیبراسیون با استفاده از پارامترهای

بزرگ‌مقیاس نشان داده شد برای پروژه‌های میدانی توزیعی و پژوهشی مناسب می‌باشد ولی به‌طور موضعی کارایی روش محلی بیشتر بوده است که این نتایج پاراجکا (۲۰۰۵: ۱٦۸) هماهنگ است. هر دو روش در حوضه کوه سوخته با مساحت یکسان استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که این دو روش واسنجی با هم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارند و هزینه‌ای که پارامتره کردن بزرگ‌مقیاس استفاده می‌شود درواقع صرف کاهش حساسیت به وابستگی مکانی و ایستایی بهتر پارامترها می‌شود که منجر به تولید نتایج قابل‌اعتمادترمی‌شود. به‌طورکلی با استفاده از پارامترهای بزرگ‌مقیاس در زمان صرفه‌جویی می‌شود که با نتایج تروی (۲۰۰۸: ۸)، یوخرل (۲۰۰۸:۱۱) و بون (۲۰۰۱: ۹) هم‌خوانی دارد. تحلیل حساسیت عوامل نشان می‌دهد پارامترهایی مانند نفوذناپذیری و نگهداشت اولیه حساسیت بسیار بالایی را در منطقه دارند. همچنین مدل نسبت به تعیین زمان تأخیر، عمل وابستگی زمانی را نشان می‌دهد که رسیدن به حالتی عمومی را دشوار می‌کند. تحقیقات تکمیلی برای رسیدن به زمان تأخیر قابل‌اعتماد به صورت بزرگ‌مقیاس برای شبیه‌سازی رواناب برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود.

کتابنامه

بحری، معصومه؛ دستورانی، محمدتقی؛ ۱۳۹٦. ارزیابی اثرات تغییراقلیم و تغییرکاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره۲۲. صص ۵۷-۳۷.

تلوری، عبدالرسول؛ ۱۳۷۵. مدل‌های هیدرولوژی به زبان ساده. چاپ. تهران: انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

سلیمانی، کریم و دیگران؛ ۱۳۸۷. پتانسیل تولید سیل در حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه معرف کسیلیان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ٦۵. صص ۵۱-٦۰.

علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. اصول کاربردی هیدرولوژی. چاپ. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.

کریمی، مریم و دیگران؛ ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با استفاده از بسته نرم‌افزاریHEC-HMS (مطالعه موردی :حوضه آبخیز چهلگزی). مجله پژوهش‌های آب ایران. شماره ۹. صص ۲۹-۳۸.

مراد نژادی، مریم ودیگران؛ ۱۳۹٤. الویت بندی زیر حوضه‌های مناسب بهره‌برداری جنگل با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: جنگل خیرود). جنگل و فراورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۲، صص ٤۰۵-٤۱۸.

مهدوی، محمد؛ ۱۳۸٦. هیدرولوژی کاربردی. چاپ، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

Abdulla, F and D. Lettenmaier., 1997. Development of regional parameterestimation equations for a macroscale hydrologic model. *Journal of Hydrology*, *197*(1-4), 230–257.

Adamowski, J. (2013). Using support vector regression to predict direct runoff, base flow and total flow in a mountainous watershed with limited data in Uttaranchal, India. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Land Reclamation, 45*(1), 71-83.

Agrawal, A. (2005). *A data model with pre-and-post processor for HEC-HMS* (Unpublished master's thesis). Texas A & M University, Texas, America.

Ahn, G. (2007). *The effect of urbanization on the hydrologic regim of the bigdarby creek watershed* (Unpublished doctoral dissertation). Ohio State University, Ohio, America.

Alexander Braud, J. (2009). *Impact of watershed delineation detail on hydrologic process modeling in low slop areas* (Unpublished master's thesis). Louisiana State University, Louisiana, America.

Asadi, A., & Boustani, F. (2013). Performance evaluation of the HEC-HMS hydrologic model for lumped and semi-distributed stormflow simulation (StudyArea: Delibajak Watershad). *American journal of engineering research (AJER), 2*(11), 115-121.

Bardossy, A., & Das, T. (2008). Rainfall network on model calibration and application.*Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 12(1),* 77-89.

Bendient, P. B., Huber, W. C., & Vieux, B. E. (2013). Hydrology and floodplain analysis. England London :Pearson Publishing.

Beven, K. (2001). How far can we go in distributed hydrological modelling? Hydrology and Earth System Science, 5(1), 1-12.

Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh , R., Raghuwanshi, N. S., Mal, B. C., & Tripathi, M. P. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Journal of environmental modelling and software*, *23*(1), 1013-1025.

Bloschl, G. (2001). Scaling in hydrology. *Hydrol Processes*, *15*(4), 709–711.

Boggs, J. L., & Sun, G. (2011). Urbanization alters watershed hydrology in the Piedmont of North Carolina. *Ecohydrology, 4*(2), 256-264.

Booij, M. J. (2003). Determination and integration of appropriate spatial scales for river basin modeling. *Hydrol Processes, 17*(13), 2581-2598.

Bormann, H. (2006). Impact of spatial data resolution on simulated catchment water balances and model performance of the multiscale TOPLATS model. Hydrology *and earth System Science, 10(2),165-179*

Butts, M. B., Payne, J. T., Kristensen, M., & Madsen, H. (2004). An evaluation of the impact of model structure on hydrological modeling uncertainty for stream flow prediction. *Journal of Hydrology, 298*(1-4), 242-266.

Cabral Moreira, A. A.,2013.Modelagem hidrologica da bacia hidrografica do Rio Granjeiro-Crato-CE. (MSc) Thesis. Universidade Federal do Ceara, 164.

Grove, M., Harbor, J., Engle, B. (1998). Composite vs. distributed curve numbers: Effects on estimates of storm runoff depths. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34*(5), 1015-1023.

Hundecha, Y., & Bárdossy, A. (2004). Modeling effect of land use changes on runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology,* 292(1), 281–295.

Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modelig System. (2013). Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modelig System(HEC-HMS) Users manual (Version 4.0). US Army Crops of Engineers.

Ibrahim-Bathis, K., Ahmed, S.A. (2016). Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed. Arabian Journal of Geosciences, 9(3), 1-16.

Karabowa, B., Sikorska, A. E., Banasik, K., & Kohnova, S. (2012). Parameters determination of a conceptual rainfall-runoff model for a small catchment in Carpathians. *Annals of Warsaw*

University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation, 44(2), 155-162.

Kirchner, J. W. (2006). Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology.Water Resources Research, 42(3).

Lu, H., Hou, T., Horton, R., Zhu, Y., Chen, X., Jia, Y., Wang, W., & Fu, X. (2013). The stream flow estimation using the xinanjiang rainfall runoff model and dual state-parameter estimation method. *Journal of Hydrology*, *480*(1), 102-114.

Mahmood, R., Jia, S., & Babel, M. (2016). Potential impacts of climate change on water resources in the Kunhar river basin, Pakistan. *Water,* 8 (1), 2-24.

Noori, N., Kalin, L., Sen, S., Srivastava, P., Lebleu, C. (2016). Identifying areas sensitive to land use/land cover change for downstream flooding in a coastal Alabama watershed. *Regional Environmental change*, 16(6), 1833-1845.

Olang, L. O., & Furst, J. (2011). Effects of land cover change on flood peak discharges and runoff volumes: Model estimates for the Nyando River Basin, Kenya. *Hydrological Processes, 25*(1), 80-89.

Parajka, J., Merz, R., & Blöschl, G. (2005). A comparison of regionalization methods for catchment model parameters. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 9(3),157–171.

Pokhrel, P., & Gupta, H. V. (2010). On the use of spatial regularization strategies to improve calibration of distributed watershed models.*Water Resources Research*, 46(1).

Pokhrel, P., Gupta, H. V., & Wagener, T. (2008). A spatial regularization approach to parameter estimation for a distributed watershed model. *Water Resources Research*,*44*(12).

Samaniego, L., Kumar, R., & Attinger, S. (2010). Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale. *Water Resources Research*, *46*(5), 1-25.

Seneviratne, S., & Stöckli, R. (2008). The role of land-atmosphere interactions for climate variability in Europe, *Climate Variability and Extremes During the Past 100 Years*, 33(1), 179–194.

Sup, M. S., Taley, S. M., & Kale, M. U. (2015). Rainfall-runoff modeling using HEC-HMS for Wan river basin. *International journal of research in engineering,science and technologies*, 28(1),21-30.

Troy, T., Wood, E. F., & Sheffield, J. (2008). An efficient calibration method for continental-scale land surface modeling, *Water Resources Research, 44(9).*

Vassova, D. (2013). Comparison of rainfall-runoff models for design discharge. *Soil and Water Research*, 8(1), 26-33.

Walega, A., & Ksiazek, L. (2015). The effect of a hydrological model structure and rainfall data. *Annals of warsaw university of life sciences – SGGW 47*(4), 305-321.

Walter Drake, Ch. (2014). Assesment of flood mitigation strategies for reducing peak discharges in the upper Cedar River watershed (Unpublished master's thesis). University of Iowa, Iowa, America.